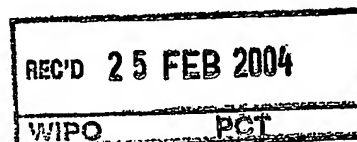


17.1.2004 / 000243

# BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Gebrauchsmusteranmeldung

**Aktenzeichen:** 203 07 478.5

**Anmeldetag:** 14. Mai 2003

**Anmelder/Inhaber:** Technische Universität Hamburg-Harburg,  
21073 Hamburg/DE;  
TUHH-Technologie-GmbH, 21079 Hamburg/DE.

**Bezeichnung:** Keramisches Schneidwerkzeug mit einer Randzone,  
Verfahren zur Herstellung und Verwendung

**Priorität:** 17.01.2003 DE 203 00 823.5

**IPC:** B 23 B, B 28 D, B 22 F

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Gebrauchsmusteranmeldung.

München, den 15. Januar 2004  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

Klostermeyer

**PRIORITY  
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

# **RICHTER, WERDERMANN, GERBAULET & HOFMANN**

EUROPEAN PATENT ATTORNEYS° • PATENTANWÄLTE

EUROPEAN TRADEMARK & DESIGN ATTORNEYS

HAMBURG • BERLIN • MÜNCHEN

DIPL.-ING. (CHEM.) JOACHIM RICHTER° • B E R L I N  
DIPL.-ING. HANNES GERBAULET° • H A M B U R G  
DIPL.-ING. FRANZ WERDERMANN° • - 1 9 8 6  
DIPL.-GEOL. MATTHIAS RICHTER • M Ü N C H E N  
DIPL.-PHYS. DR. ANDREAS HOFMANN° • M Ü N C H E N

Neuer Wall 10 / II • 20354 HAMBURG

☎ +49/(0)40/34 00 45 / 34 00 56

Telefax +49/(0)40/35 24 15

eMail: ham@rwgh.de

URL: <http://www.rwgh.de>

Ihr Zeichen  
Your File

Unser Zeichen  
Our File

HAMBURG

T 03144 III 6650i

13. Mai 2003

**Anmelder:**

1. **Technische Universität  
Hamburg-Harburg  
Schwarzenbergstraße 95  
D-21073 Hamburg (DE)**
2. **TUHH-Technologie-GmbH  
Harburger Schloßstraße 6-12  
D-21079 Hamburg (DE)**

**Titel:**

**Keramisches Schneidwerkzeug mit einer  
Randzone, Verfahren zur Herstellung und  
Verwendung**

Die Erfindung betrifft ein keramisches Schneidwerkzeug bzw. eine Schneidkeramik mit einer Randzone bzw. Randschicht mit verbesserter Verschleißfestigkeit, Zähigkeit, Festigkeit und Härte, ein Verfahren zu dessen Herstellung und Verwendung.

Schneidkeramiken sind naturharte Werkstoffe auf Oxid- bzw. Nitridbasis. Oxidkeramiken werden je nach ihrer Zusammensetzung in sogenannte weiße Oxidkeramiksarten auf der Basis von Korund ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) mit Zusätzen, hauptsächlich Zirkonoxid ( $\text{ZrO}_2$ ), und den sogenannten schwarzen Mischkeramiken mit relativ hohen Anteilen an Titankarbid bzw. Titankarbonitrid unterschieden. Ihre Herstellung erfolgt durch Sintern, Heiß-Isostatisches Pressen oder Heißpressen bei Temperaturen von 1500 bis 2000 °C. Die Härte dieser Materialien sinkt erst bei höheren Temperaturen stark ab. Infolge hoher Verschleißfestigkeit, geringer Diffusionsneigung und Oxidationsbeständigkeit ermöglichen Oxidkeramiken sehr hohe Schnittgeschwindigkeiten.

Keramische Verbundkörper aus einem Grundgefüge und einer äußeren Randschicht sind durch DE 41 19 705 bekannt. Diese keramischen Verbundkörper weisen eine gasdichte Außenschicht, die vollständig aus verschleißfester Keramik, insbesondere aus Oxiden, Carbiden, Nitriden und/oder Boriden des Aluminiums und Zirkoniums besteht, ein Innengefüge aus metallischen und keramischen Phasen (Cermet) sowie eine Zwischenschicht, welche die keramische Außenschicht mit dem Innengefüge verbindet und einen kontinuierlichen Übergang von der Außenschicht zum metallhaltigen Innengefüge bildet, auf. Dieser keramische Körper soll sich durch hohe Festigkeit, Verschleißfestigkeit sowie eine hohe Thermochockbeständigkeit auszeichnen und eine Außenschicht aufweisen, die nicht zum Abplatzen neigt.

Auch die Gradierung von Hartmetallen ist bekannt; sie ermöglicht eine definierte Variation der strukturellen, thermischen und funktionellen Eigenschaften von Hartmetallen (Lengauer, W.; Dreyer, K.: *Functionally graded hardmetals*, Journal of Alloys and Compounds **338** (2002) 194-212, sowie Ucakar, V.; Kral, C.; Dreyer, K.; Lengauer, W.: *Near-surface microstructural modification of (Ti,W)(C,N)-based compacts with nitrogen*, 15<sup>th</sup> International Plansee Seminar, Eds. Kneringer, G.; Rödhammer, P. and Wild-

ner, H.; Plansee Holding AG, Reuttie (2001) Vol. 2). Ebenso kann eine Verbesserung der Gebrauchseigenschaften von Hartmetall- und Keramikschneidstoffen durch Beschichtungen realisiert werden. Je nach Anwendungsschwerpunkt kann die Härte, der Reibungsbeiwert sowie die Oxidationsbeständigkeit variiert werden (DE 197 09 980 C1 und DE 36 08 734 C1). Des weiteren sind whiskerverstärkte keramische Schneidwerkzeuge bekannt (EP 0 861 219).

Durch US 3 580 708 sind Schneidkeramiken aus  $\text{Al}_2\text{O}_3$  und  $\text{TiC}$  (Mischkeramiken) bekannt.

Nachteilig bei der Herstellung bekannter Schneidkeramiken ist die Verwendung reiner, vorzugsweise hochreiner Ausgangsstoffe, beispielsweise sauerstofffreies  $\text{TiC}$ , ebenso sind hohe Sintertemperaturen zur Herstellung von Schneidkeramiken nach dem Stand der Technik notwendig, die einen hohen Energieaufwand erfordern und damit zu hohen Herstellungskosten bekannter Mischkeramiken führen. Ein weiterer Nachteil liegt in einer zu verbessernden Verschleißfestigkeit, die wie bei Hartmetallen durch Beschichtungen gesteigert werden kann. Bedingt durch die dabei verwendeten Verfahrenstechnologien besteht ausgehend vom zu beschichtenden Material zum Schichtwerkstoff ein abrupter (nichtgradiert) Stoffübergang der nur eine schwache Schichthaftung ermöglicht und zu Abplatzungen bei der Verwendung führen kann. Außerdem tritt bei zunehmenden Schichtdicken (auch mehrlagig) eine Verrundung der Schneidkante auf, so dass die zuvor aufwendig, meist mit Diamantwerkzeugen erarbeitete Schneidkantengeometrie verloren geht. Weiterhin erfordern bekannte Beschichtungsmethoden verfahrensbedingt eine aufwendige Chargierung.

Es ist Aufgabe der Erfindung, die Verschleißbeständigkeit keramischer bzw. mischkeramischer Schneidstoffe zu steigern und einen möglichst niedrigen Herstellungsaufwand zu erzielen. Insbesondere bei der Schlichtbearbeitung gehärteter Stähle und der Bearbeitung von Guss-

werkstoffen soll das Funktionsverhalten der Schneidkeramik verbessert werden. Weiterhin soll eine nicht zur Abplatzung neigende Randzone bzw. Randschicht erreicht werden, bei der die Schneidkantengeometrie erhalten bleibt, insbesondere scharfkantige Schneiden nicht verrundet werden. Außerdem soll die Chargierung der Schneidplatten zur Randzonenherstellung/Beschichtung vereinfacht werden.

Gelöst wird diese Aufgabe bei einem keramischen Schneidwerkzeug mit den im Anspruch 1 angegebenen Merkmalen und mit einem Verfahren gemäß Anspruch 15 zur Herstellung des keramischen Schneidwerkzeuges.

Das erfindungsgemäße keramische Schneidwerkzeug ist eine mehrphasige Keramik (Ausgangskeramik), die aus einer Basiskeramik und einer Opferphase sowie gegebenenfalls Additiven und primären Hartstoffphasen und einer verschleißfesten, harten, nicht abgeschiedenen, gegebenenfalls mehrlagigen Randzone bzw. Randschicht aus mindestens einer Hartstoffphase besteht, wobei die Randzone innig mit der Ausgangskeramik verwachsen ist, und durch Auslagerung der Ausgangskeramik in definierter Atmosphäre gebildet wird.

Das erfindungsgemäße Verfahren zur Herstellung des Schneidwerkzeuges umfasst nach einer ersten Ausführungsform folgende Schritte:

- Nach bekannten pulvermetallurgischen Verfahren werden die Ausgangspulver aufbereitet, Grünkörper hergestellt und mit bekannten Sinterverfahren zu Halbzeugen verdichtet;
- Herstellung der gewünschten Schneidkantengeometrie, vorzugsweise durch Schleifen, im besonderen der Spanfläche, Freifläche und Schutzfase;

- Erzeugung von Randzonen bzw. Randschichten nach der Hartbearbeitung des Schneidwerkzeuges durch nachträgliche Auslagerung in definierter Atmosphäre.

Nach einer zweiten Ausführungsform umfasst das erfindungsgemäße Verfahren zur Herstellung des Schneidwerkzeuges folgende Schritte:

- Nach bekannten pulvermetallurgischen Verfahren werden die Ausgangspulver aufbereitet und Grünkörper hergestellt;
- Herstellung der gewünschten Schneidkantengeometrie bzw. -fasologie im Grünzustand unter Berücksichtigung des Sinterschwundes, vorzugsweise durch Schleifen, im besonderen der Spanfläche, Freifläche und Schutzfase;
- Sinterung mit Auslagerung des bearbeiteten Grünkörpers und gleichzeitige Erzeugung von Randzonen bzw. Randschichten durch bekannte Verfahren in definierter Atmosphäre.

Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche.

Vorteile der erfindungsgemäßen mehrphasigen Schneidkeramik bestehen in der Verwendung kostengünstiger Rohstoffe und verfahrensbedingt niedrigen Sintertemperaturen. Zur Erzeugung der Randschicht wird der Keramikkörper nach der Hartbearbeitung zur Erstellung der Schneidkantengeometrie einer Temperaturbehandlung, vorzugsweise druckunterstützt unterzogen, die in reduzierender Atmosphäre und/oder reduzierendem Sinterbett erfolgt, wobei die charakteristischen Elemente des Schichtmaterials, die nachfolgend genauer spezifiziert werden, nicht durch sekundäre Quellen bereitgestellt werden. Die Chargierung der Schneidkörper erfolgt dabei denkbar einfach. Die Randzone ist infolge von Diffusions- und Umlagerungsprozessen ideal mit dem Gefüge der mehrphasigen Schneidkeramik verbunden, so dass eine geringe Neigung zum Abplatzen vorhan-

den ist. Durch die erfindungsgemäß erzeugten Hartstoffrandschichten werden die Verschleiß- und Gebrauchseigenschaften der Schneidkeramik verbessert; vergleiche Bild 7. In einer weiteren Verfahrensvariante wird die Schneidkanten geometrie im Grünzustand des keramischen Schneidkörpers erzeugt, um während der Sinterung gleichzeitig die Erzeugung einer Randzone zu realisieren und damit die Herstellungskosten weiter zu senken. Durch eine günstige Zusammensetzung der mehrphasigen Schneidkeramik ist auch die Erzeugung mehrlagiger Beschichtungen zur weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des Schneidwerkzeuges, hinsichtlich der Verbesserung seiner Verschleiß-, Reibungs- und Gebrauchseigenschaften möglich.

Das erfindungsgemäße mehrphasige Schneidwerkzeug besteht aus einer Ausgangskeramik, die sich aus einer Basiskeramik mit höchstens 50 Vol-% einer oder mehrerer Opferphasen und mit höchstens 40 Vol-% Additiven und mit höchstens 50 Vol-% einer oder mehrerer primärer Hartstoffphasen zusammensetzt, sowie einer Randzone (bzw. Randschicht bzw. Randbereich). Die Randzone ist dabei innig mit dem Grundmaterial/Ausgangskeramik verwachsen. Die Randzone weist gegenüber dem Grundmaterial keinen bzw. einen erheblich reduzierten Anteil an Ausgangskeramik, im besonderen an Basiskeramik auf und wird nach dem üblicherweise letzten Herstellungsschritt, der Hartbearbeitung keramischer Schneidplatten, durch eine nachträgliche, gegebenenfalls druckunterstützte Temperaturbehandlung in reduzierender Atmosphäre realisiert.

Die Basiskeramik ist eine auf einer oder mehreren metallischen oder halbmethallischen Verbindung/-en mit Sauerstoff und/oder Stickstoff basierende Keramik, bevorzugterweise Aluminiumoxid.

Die Opferphase ist das Oxid und/oder eine Sauerstoff-haltige Verbindung aus Kohlenstoff und/oder Stickstoff und/oder Bor, eines oder mehrerer

charakteristischer Elemente, speziell Titanoxikarbid und/oder Titanoxykarbonitrid.

Die charakteristischen Elemente sind vorzugsweise Elemente der 3. oder 4. oder 5. Periode, der IV oder V oder VI Nebengruppe des Periodensystems der Elemente und/oder Bor und/oder Silizium, vorzugsweise Titan und/oder Zirkonium und/oder Vanadium und/oder Wolfram und/oder Bor und/oder Silizium, speziell Titan und/oder Zirkonium.

Additive bezeichnen gewünschte bzw. geduldete, aber auch zwangsweise vorhandene Zusätze in Form von Additiven, Sinterhilfsmitteln und Verunreinigungen, die in den Ausgangspulvern enthalten, dem Pulverversatz zugesetzt oder infolge der Pulveraufbereitung zugesetzt sind oder durch Abrieb entstehen; wobei es sich vorzugsweise um  $ZrO_2$  handelt.

Die primäre Hartstoffphase ist das Karbid und/oder Nitrid und/oder Borid, und/oder Karbonitrid und/oder Karboborid und/oder Bornitrid und/oder Karbobornitrid eines oder mehrerer charakteristischer Elemente, vorzugsweise Titankarbid und/oder Titankarbonitrid, speziell Titankarbid.

Die Randzone besteht aus einer oder mehreren Hartstoffphase/-n, dem Karbid und/oder Nitrid und/oder Borid und/oder deren Mischungen eines oder mehrerer charakteristischer Elemente, ist ein- oder mehrlagig aufgebaut und weist gegenüber dem Grundmaterial keinen oder einen erheblich reduzierten Anteil an Basiskeramik auf.

Die bei dem keramischen Schneidwerkzeug eingesetzte Ausgangskeramik wird durch eine aluminothermische Herstellung und/oder konventionelle, drucklose, eventuell vakuumunterstützte Sinterung und/oder heißisostatisches Pressen und/oder Heißpressen und/oder Mikrowellensintern und/oder Lasersintern in reduzierender Atmosphäre bereitgestellt.



Die mehrphasige Keramik besteht aus mindestens zwei charakteristischen Gefügebestandteilen (Phasen), vorzugsweise  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (als Basiskeramik) und einer Opferphase, vorzugsweise einem Oxid und/oder Oxikarbid und/oder Oxinitrid und/oder Oxiborid und/oder Oxikarbonitrid und/oder Oxikarboborid und/oder Oxibornitrid und/oder Oxikarbobornitrid; speziell einem Oxikarbid und/oder Oxinitrid und/oder Oxikarbonitrid, wobei die  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Phase, vorzugsweise aus  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ohne Verunreinigungen, speziell aus hochreinem  $\text{Al}_2\text{O}_3$  besteht.

Die vorzugsweise auf  $\text{Al}_2\text{O}_3$  basierende mehrphasige Keramik besitzt ein Gefüge, das eine mittlere Korngröße zwischen 100 nm bis 10  $\mu\text{m}$ , vorzugsweise zwischen 300 nm und 5  $\mu\text{m}$ , speziell zwischen 500 nm und 3  $\mu\text{m}$  aufweist.

Die Randzone des Schneidwerkzeuges weist eine Dicke zwischen 0,1  $\mu\text{m}$  und 20  $\mu\text{m}$ , vorzugsweise zwischen 0,5  $\mu\text{m}$  und 8  $\mu\text{m}$ , speziell zwischen 1  $\mu\text{m}$  und 4  $\mu\text{m}$  auf; mit dem Grundmaterial wird eine Übergangszone einer Dicke von 50 nm bis 5  $\mu\text{m}$  gebildet.

Die Opferphase besteht im speziellen aus Titanoxikarbid und/oder Titanoxinitrid und/oder Titanoxikarbonitrid und weist in einer bevorzugten Ausführung eine geringere Nanohärte als  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , höchstens 26 GPa (gemessen mit Berkovichindenter, bei 3 mN), vorzugsweise höchstens 25 GPa, genau 23 GPa auf. Die Randzone des keramischen Schneidwerkzeuges bzw. der Schneidkeramik besteht im speziellen aus Titankarbid und/oder Titankarbonitrid und weist eine höhere Nanohärte als  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , vorzugsweise im Bereich von 27 GPa bis 35 GPa (gemessen mit Berkovichindenter bei 3 mN), speziell 29 GPa bis 32 GPa auf. Eine weitere Ausgestaltung des keramischen Schneidwerkzeuges sieht vor, dass die Randzone wie eine Beschichtung bzw. ein Beschichtungschema (mehrlagige Beschichtung aus gleichen und/oder verschiedenen Materialien) hergestellt bzw. mittels chemischer und/oder physikalischer Abscheidung er-

gänzt die Eigenschaften des Schneidwerkzeuges beeinflusst, bevorzugt die Härte und die Verschleißfestigkeit verändert, speziell die Gebrauchseigenschaften verbessert.

Die erfindungsgemäße Schneidkeramik wird u.a. als Zerspanungswerkzeug zur Bearbeitung metallischer Werkstoffe mit einer Härte größer 50 HRC eingesetzt, vorzugsweise gehärteter Stahl- und/oder Gusswerkstoffe. Die Schneidkante der Schneidkeramik wird durch eine Spanfläche und eine Freifläche am Zusammentreffen der Spanfläche und der Freifläche gebildet; sie ist vorzugsweise gefast.

Das erfindungsgemäße Verfahren zur Herstellung des keramischen Schneidkörpers mit verbesserter Verschleißfestigkeit, Zähigkeit, Festigkeit und Härte der Randzone bzw. der Randschicht, besteht darin, dass eine mehrphasige Ausgangskeramik/Grundmaterial bereitgestellt wird, die aus höchstens 50 Vol-% Opferphase und höchstens 40 Vol-% Additiven und höchstens 50 Vol-% primärer Hartstoffphase, und der Rest Basiskeramik besteht, wobei

- nach der Pulveraufbereitung eine Grünkörperherstellung mit anschließendem Reaktionssintern erfolgt,
- anschließend eine Hartbearbeitung des gesinterten Keramikkörpers, vorzugsweise durch Schleifen, im besonderen der Spanfläche, Schutzfase und Freifläche vorgenommen wird, und
- nach der Hartbearbeitung des keramischen Schneidkörpers eine thermische, vorzugsweise thermisch druckunterstützte Auslagerung in reduzierender, vorzugsweise Kohlenstoff- und/oder Stickstoff-haltiger Atmosphäre, speziell ein heiß-isostatisches Pressen, vorzugsweise bei 1550°-1650°C oder anderen geeigneten Temperaturen zur Erzeugung einer Randzone bzw. Randschicht auf einer mehrphasigen, vorzugsweise auf  $\text{Al}_2\text{O}_3$  basierenden Keramik erfolgt.

Des weiteren sieht die Erfindung die Verwendung eines keramischen Schneidwerkzeuges mit verbesserter Verschleißfestigkeit, Zähigkeit, Festigkeit und Härte der Randzonen bzw. Randschicht, als Teil gemäß einem der Ansprüche 1 bis 14 im Apparate- und Maschinenbau, insbesondere als Schneidplatte, vor.

Aufgrund der erfindungsgemäßen Ausgestaltung wird ein keramisches Schneidwerkzeug geschaffen, das eine hohe Verschleißfestigkeit, Zähigkeit, Festigkeit und Härte, insbesondere in der Randzone bzw. Randschicht, aufweist. Die Verschleißbeständigkeit derartiger mischkeramischer Schneidstoffe wird gesteigert, wobei ein möglichst niedriger Herstellungsaufwand erreicht wird. Insbesondere bei der Schlichtbearbeitung gehärteter Stähle und der Bearbeitung von Gusswerkstoffen wird das Funktionsverhalten der Schneidkeramik verbessert. Weiterhin wird eine scharfkantige Schneide und eine nicht zur Abplatzung neigende Randzone bzw. Randschicht bzw. Randbereich erreicht. Außerdem wird die Chargierung der Schneidplatten zur Randzonenherstellung/Beschichtung vereinfacht.

Aufgrund des Phasenbestandes (Opferphase), einer einfach zu realisierenden Ofenatmosphäre sowie einer einfachen Chargierung wird die Randzonenherstellung/Beschichtung vereinfacht.

Das erfindungsgemäße Verfahren bietet die Möglichkeit bzw. die erfindungsgemäßen Schneidkörper bieten den Vorteil, dass die Härte-/Verschleiß- und Zähigkeits-/Biegefestigkeitseigenschaften von Grundmaterial und Randschicht separat optimiert werden können. So kann beispielsweise der in der Hartschlichtbearbeitung standzeitbestimmende Freiflächenverschleiß vermindert werden, ohne die Zähigkeit zu reduzieren.

Die Erfindung wird anhand von Ausführungsbeispielen nachstehend in Verbindung mit den Figuren erläutert.

Es zeigen:

- Fig. 1      in einer schematischen Ansicht die Zusammensetzung und den Aufbau eines erfindungsgemäßen keramischen Schneidkörpers mit besonders ausgebildeter Randzone,
- Fig. 2      eine rasterelektronenmikroskopische Wiedergabe des Gefüges eines keramischen Schneidkörpers mit besonders ausgebildeter Randzone im Querschliff,
- Fig. 3      ein Ausführungsbeispiel für den Verfahrensablauf zur Herstellung eines erfindungsgemäßen keramischen Schneidkörpers in einer schematischen Darstellung mit Prozessparametern,
- Fig. 4      eine allgemeinere schematische Darstellung des in Fig. 3 dargestellten Ausführungsbeispiels der Verfahrensabläufe zur Herstellung eines erfindungsgemäßen keramischen Schneidkörpers,
- Fig. 5      rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen eines schrägen Anschliffes der Randzone eines erfindungsgemäßen keramischen Schneidkörpers mit Grundgefüge, Hartstoffschicht (TiC), Übergangszone (Hartstoffschicht-Grundmaterial) und Schneidkörper Oberfläche (posthip-Oberfläche),
- Fig. 6      eine rasterelektronenmikroskopische Wiedergabe des Gefüges eines keramischen Schneidkörpers, mit einem Element-Mapping an einem Querschliff eines erfindungsgemäßen Schneidkörpers mit besonders ausgebildeter Randzone, und
- Fig. 7      das Verschleißverhalten erfindungsgemäßer keramischer Schneidkörper im Vergleich zum Stand der Technik.

Der in den Fig. 1 und 2 dargestellte keramische Schneidkörper weist eine verschleißfeste Randzone 20, die auf vollem Umfang vorhanden ist, mit erhöhter Verschleißbeständigkeit auf. Weiterhin ist der Phasenbestand der Keramik in Fig. 1 beispielhaft erläutert. Fig. 2 zeigt im Schliffbild die aus  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZrO}_2$  und  $\text{Ti}(\text{O},\text{C})$  bestehende Ausgangskeramik 10 sowie die durch einen hohen Gehalt von TIC gekennzeichnete Randzone 20, welche innig mit der Ausgangskeramik verwachsen ist und eine Dicke von etwa 2-3  $\mu\text{m}$  aufweist.

Eine Technologie zur Herstellung einer derartigen erfindungsgemäßen Mischkeramik wird nachstehend beispielhaft beschrieben:

Dem Verfahren liegt zunächst eine exotherme Reduktion eines Metalloxides durch metallisches Aluminium unter in-situ-Bildung von  $\text{Al}_2\text{O}_3$  zugrunde. Durch Zugabe primärer keramischer Hartstoffphasen z.B.  $\text{TiC}$ ,  $\text{Ti}(\text{C},\text{N})$ ,  $\text{TiN}$  in die Ausgangspulvermischung können verschiedene Mischkeramiken hergestellt werden. Die aluminothermische Herstellung von Mischkeramiken ist in den Fig. 3 und 4 schematisch dargestellt. Der Pulveransatz (A) setzt sich aus reaktiven und inerten Bestandteilen zusammen. Die reaktiven Bestandteile Aluminium und  $\text{TiO}_2$  realisieren die in-situ-Bildung von  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Die Reaktionspartner befinden sich jedoch nicht in einem stöchiometrischen Verhältnis, so dass kein metallisches Titan verbleibt, sondern eine Titan-Mischphase eines Titanoxikarbides bzw. Titanoxikarbonitrides aus den primären Bestandteilen  $\text{TiO}_2$  sowie dem Kohlenstoff der Ofenatmosphäre, aus den Graphitheizelementen des Ofens oder einem die Probe umgebenden Graphit- bzw. graphithaltigen Sinterbett, sowie dem optional verwendeten primären Hartstoff, bspw.  $\text{TiC}$ ,  $\text{Ti}(\text{C},\text{N})$  bzw.  $\text{TiN}$  gebildet wird.

Die gesinterten Schneidplattenrohlinge werden vorzugsweise mittels Schleifen an Freifläche, Spanfläche und Schneidkante hartbearbeitet (F) und mit der gewünschten Schneidkantengeometrie versehen.

Erfindungsgemäß folgt der Hartbearbeitung als letzter Herstellungsschritt ein nachträgliches heiß-isostatisches Pressen (G).

Überraschenderweise entstehen, wie in den Fig. 5 und 6 dargestellt, Randzonen aus Hartstoffen wie  $TiC_x$  mit erheblich reduziertem  $Al_2O_3$ -Gehalt. Fig. 5 zeigt im Schrägschliff eines erfindungsgemäßen Schneidkörpers die Randzone 20 mit gegenüber dem Grundgefüge 10 erheblich reduziertem  $Al_2O_3$ -Gehalt sowie die Übergangszone, in welcher Grundgefüge und Randzone innig verwachsen sind. In Fig. 6 sind REMAufnahmen eines Querschliffes sowie Verteilungen der Elemente Al, O, Ti und Zr in der Ausgangskeramik 10 sowie der Randzone 20 gezeigt. Gemäß Fig. 6 unten rechts liegt eine Schichtfolge von  $TiC_x$  und  $ZrC_x$ , ausgehend vom Grundmaterial in der Randzone vor, wobei das Zirkonoxid des konkret in Fig. 3 dargestellten Herstellungsweges aus dem Abrieb des Mahlbesteckes bzw. der Mahlkugeln stammt. In Fig. 5 ist die dünne  $ZrC_x$ -Deckschicht hell auf der posthip-Oberfläche zu sehen. Infolge der Beschaffenheit der aluminothermisch gesinterten Mischkeramik sowie einer reduzierenden Kohlenstoff- (infolge der Graphitheizelemente des Ofens und/oder des die Probe umgebenden Graphit- bzw. graphitbeinhaltenden Sinterbettes) bzw. Stickstoff-haltigen (infolge des verwendeten Spül- bzw. Druckgases) Atmosphäre erfolgt die Bildung einer  $TiC_x$ ,  $TiN_x$  bzw.  $Ti(C_x, N_y)_z$ -Randzone.

Die vorteilhafte Wirkung der verschleißfesten Randzone auf die Gebrauchseigenschaften zeigt sich in Zerspanversuchen im Vergleich zu mischkeramischen Schneidkörpern nach dem Stand der Technik; siehe Fig. 7. So ergibt sich beim Hartdrehen des Stahles 100Cr6 ein deutlich langsamerer Anstieg der Verschleißmarkenbreite, die zur Schädigung der Bauteiloberfläche führen kann und daher die Lebensdauer des Schneidkörpers begrenzt.

Im Fall von TiN als Randzone bzw. oberste Schicht einer mehrlagigen Randzone wird ein günstiges Reibungsverhalten sowie aufgrund der Farbe eine deutliche Erkennung des Schneidenverschleißes erreicht.

Der Vorteil des Verfahrens zur Herstellung mischkeramischer Schneidstoffe mit einer Randzone bzw. Randschicht ist eine einfache Chargierung der Schneidkörper zur Randzonen- bzw. Schichterzeugung. Das Verfahren ermöglicht eine dichte Packung/Chargierung der Schneidkörper beim Randzonen-erzeugenden Prozess. Beispielsweise können die Schneidkörper direkt aufeinander gestapelt werden, so dass die die Randzonen erzeugenden Diffusionsreaktionen nur an den zugänglichen Bereichen nahe der Schneidkanten ablaufen und dementsprechend die Randzonen vorzugsweise im Bereich der Schneidkanten ausgebildet sind.

Selbstverständlich können Schneidkörper zur weiteren Steigerung der Gebrauchseigenschaften mit bekannten Varianten üblicher Beschichtungsverfahren, z.B. PVD und/oder CVD nachträglich beschichtet werden.

Die Herstellung eines Schneidkörpers erfolgt in den in Fig. 3 dargestellten Stufen, wobei auf die in Fig. 3 angegebenen jeweiligen Verfahrensbedingungen Bezug genommen wird, die eine beispielhafte Ausgestaltung darstellen. In Stufe A erfolgt die Herstellung des Pulversatzes, d.h. beispielsweise einer Mischung aus 35 Vol-%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 15 Vol-% TiC, 21,5 Vol-% Al und 28,5 Vol-%  $\text{TiO}_2$ . Hieran schließt sich in Stufe B die Pulveraufbereitung durch Attritieren an. Dabei wird der Pulversatz 7 Stunden bei 700 U/min in Aceton mittels Y-TZP-Mahlkugeln und Y-TZP-Mahlscheiben in einem  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Behälter attritiert. Der durch den Einsatz von Y-TZP-Mahlscheiben und -Mahlkugeln entstehende  $\text{ZrO}_2$ -Abrieb kann anhand röntgenographischer Untersuchungen sowie durch Mikrosondenuntersuchungen wie in Fig. 6 dargestellt festgestellt werden. Es findet dann in Stufe C die Pulverkonditionierung durch Trocknen und Sieben bei einer Maschenweite von 200  $\mu\text{m}$  statt. In Stufe D wird der Grundkörper zu-

nächst durch uniaxiales Pressen mit 5 MPa und anschließendes kalt-isostatisches Pressen mit 900 MPa hergestellt. Stufe E beinhaltet das Reaktionssintern im Vakuum (nach Argon-Spülung) in einem graphitbeheizten Gasdrucksinterofen, wobei das Sinterprogramm folgende Heizraten und Haltezeiten beinhaltet :

RT	bis	300 °C	mit 6 K/min,
300 °C	bis	550 °C	mit 3 K/min,
550 °C	bis	700 °C	mit 1 K/min,
700 °C	bis	1625 °C	mit 30 K/min,
bei 1625 °C 1 Stunde Haltezeit,			
1625 °C	bis	575 °C	mit 10 K/min und
575 °C	bis	RT	mit natürlicher Abkühlung.

Es schließt sich dann in Stufe F die Hartbearbeitung mittels Schleifen an, und letztlich erfolgt entsprechend dem erfindungsgemäßen Verfahren in Stufe G das heiß-isostatische Pressen, speziell bei 1625 °C, mit Argon als Druckgas, speziell bei 200 MPa, in einer mit Graphitelementen beheizten heiß-isostatischen Presse über einen Zeitraum von 10 Minuten, so dass ein keramischer Schneidkörper mit den vorangehend angegebenen Eigenschaften in der Randzone bzw. Randschicht erhalten wird. Die Fig. 5 und 6 geben einen Schrägschliff einer erfindungsmäßigen Randzone wieder.

Die in Fig. 3 angegebenen Verfahrensstufen sind als schematischer Ablauf in Fig. 4 wiedergegeben, wobei die Stufe E mit dem Reaktionssintern den Ablauf der Sinterung über die Phasenentwicklung des Ausgangspulvers verdeutlicht. Die in den Fig. 3 und 4 angegebenen Temperatur- und Druckbereiche sowie Prozesszeiten stellen keine Bereichsbegrenzung dar, auch von den angegebenen Wertebereichen abweichende Prozessbedingungen sind möglich; ebenso können auch andere als die angegebenen Druckgase verwendet werden.



Eine weitere Ausgestaltung der Verfahrensprozesse zur Herstellung eines erfindungsgemäßen Schneidkörpers nach Fig. 3 und 4, sieht eine Bearbeitung des Grünkörpers vor Prozessschritt (E), beispielsweise durch Schleifen der Spanfläche, Freifläche und Schutzfase zur Ausbildung einer Schneidkante vor, wobei dann auf Prozessschritt (F) verzichtet werden kann. Dies ermöglicht, die Prozessschritte (E) und (G) zusammenzufassen, wodurch Prozesszeiten und -kosten gesenkt werden.

### Ansprüche

1.   Keramisches Schneidwerkzeug mit verbesserter Verschleißfestigkeit der Randzone bzw. Randschicht, dadurch gekennzeichnet, dass das Schneidwerkzeug eine mehrphasige Keramik (Ausgangskeramik) ist, die aus einer Basiskeramik und einer Opferphase sowie gegebenenfalls Additiven und primären Hartstoffphasen und einer verschleißfesten, harten, nicht abgeschiedenen, gegebenenfalls mehrlagigen Randzone bzw. Randschicht aus mindestens einer Hartstoffphase besteht, wobei die Randzone innig mit der Ausgangskeramik verwachsen ist, und durch Auslagerung der Ausgangskeramik in definierter Atmosphäre gebildet wird.
2.   Schneidwerkzeug nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Ausgangskeramik aus höchstens 50 Vol-% Opferphase und gegebenenfalls höchstens 40 Vol-% Additiven und gegebenenfalls höchstens 50 Vol-% primärer Hartstoffphase, Rest Basiskeramik besteht.
3.   Schneidwerkzeug nach einem der Ansprüche 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Basiskeramik aus  $\text{Al}_2\text{O}_3$  besteht.
4.   Schneidwerkzeug nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Opferphase aus dem Oxid und/oder einer Sauerstoffhaltigen Verbindung aus Kohlenstoff und/oder Stickstoff und/oder Bor eines oder mehrerer charakteristischer Elemente, im speziellen

aus Titanoxid und/oder Titanoxikarbid und/oder Titanoxinitrid und/oder Titanoxikarbonitrid besteht.

5. Schneidwerkzeug nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die charakteristischen Elemente Elemente der 3. oder 4. oder 5. Periode, der IV oder V oder VI Nebengruppe des Periodensystems der Elemente und/oder Bor und/oder Silizium, vorzugsweise Titan und/oder Zirkonium und/oder Vanadium und/oder Wolfram und/oder Bor und/oder Silizium, speziell Titan und/oder Zirkonium sind.
6. Schneidwerkzeug nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass als Additiv Zirkoniumoxid verwendet wird.
7. Schneidwerkzeug nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die primäre Hartstoffphase das Karbid und/oder Nitrid und/oder Borid und/oder deren Mischungen eines oder mehrerer charakteristischer Elemente, vorzugsweise Titankarbid und/oder Titankarbonitrid, speziell Titankarbid ist.
8. Schneidwerkzeug nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Randzone bzw. Randschicht hauptsächlich aus Karbiden und/oder Nitriden und/oder Boriden und/oder deren Mischungen eines oder mehrerer charakteristischer Elemente besteht, und eine Dicke zwischen 0,1  $\mu\text{m}$  und 20  $\mu\text{m}$ , vorzugsweise 0,5  $\mu\text{m}$  und 8  $\mu\text{m}$ , speziell zwischen 1  $\mu\text{m}$  und 4  $\mu\text{m}$  aufweist.

9. Schneidwerkzeug nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen der Randzone und dem Ausgangsmaterial eine Übergangszone von zwischen 50 nm und 5 µm gebildet wird, in der diese innig verwachsen sind.
10. Schneidwerkzeug nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass das Gefüge der mehrphasigen Keramik eine mittlere Korngröße zwischen 100 nm und 10 µm, vorzugsweise zwischen 300 nm und 5 µm, speziell zwischen 500 nm und 3 µm aufweist.
11. Schneidwerkzeug nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Opferphase aus Titanoxikarbid besteht und eine geringere Nanohärte (gemessen mit Berkovichindenter, bei 3 mN) als  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , höchstens 26 GPa, vorzugsweise 23 GPa aufweist.
12. Schneidwerkzeug nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Randzone bzw. Randschicht hauptsächlich Titankarbid enthält, das eine höhere Nanohärte (gemessen mit Berkovichindenter, bei 3 mN) als  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , vorzugsweise zwischen 27 GPa bis 35 GPa, speziell 29 GPa bis 32 GPa aufweist.
13. Schneidwerkzeug nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass auf die Randzone bzw. den Randbereich eine ein- bzw. mehrlagige Beschichtung mittels physikalischer und/oder chemischer Abscheidung aus gleichem und/oder verschiedenen Materialien aufgebracht ist, wobei die Gebrauchseigenschaften des Schneidwerkzeuges verbessert werden.

14. Verfahren zur Herstellung eines Schneidwerkzeuges mit verbesserter Verschleißfestigkeit der Randzone bzw. Randschicht nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass das Verfahren folgende Schritte umfasst:
- Nach bekannten pulvermetallurgischen Verfahren werden die Ausgangspulver aufbereitet, Grünkörper hergestellt und mit bekannten Sinterverfahren zu Halbzeugen verdichtet,
  - Herstellung der gewünschten Schneidkantengeometrie, vorzugsweise durch Schleifen, im besonderen der Spanfläche, Freifläche und Schutzfase;
  - Erzeugung von Randzonen bzw. Randschichten nach der Hartbearbeitung des Schneidwerkzeuges durch nachträgliche Auslagerung in definierter Atmosphäre.
15. Verfahren zur Herstellung eines Schneidwerkzeuges mit verbesserter Verschleißfestigkeit der Randzone bzw. Randschicht nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass das Verfahren folgende Schritte umfasst:
- Nach bekannten pulvermetallurgischen Verfahren werden die Ausgangspulver aufbereitet und Grünkörper hergestellt;
  - Herstellung der gewünschten Schneidkantengeometrie bzw. -fasologie im Grünzustand unter Berücksichtigung des Sinterschwundes, vorzugsweise durch Schleifen, im besonderen der Spanfläche, Freifläche und Schutzfase;
  - Sinterung mit Auslagerung des bearbeiteten Grünkörpers und gleichzeitige Erzeugung von Randzonen bzw. Randschichten durch bekannte Verfahren in definierter Atmosphäre.

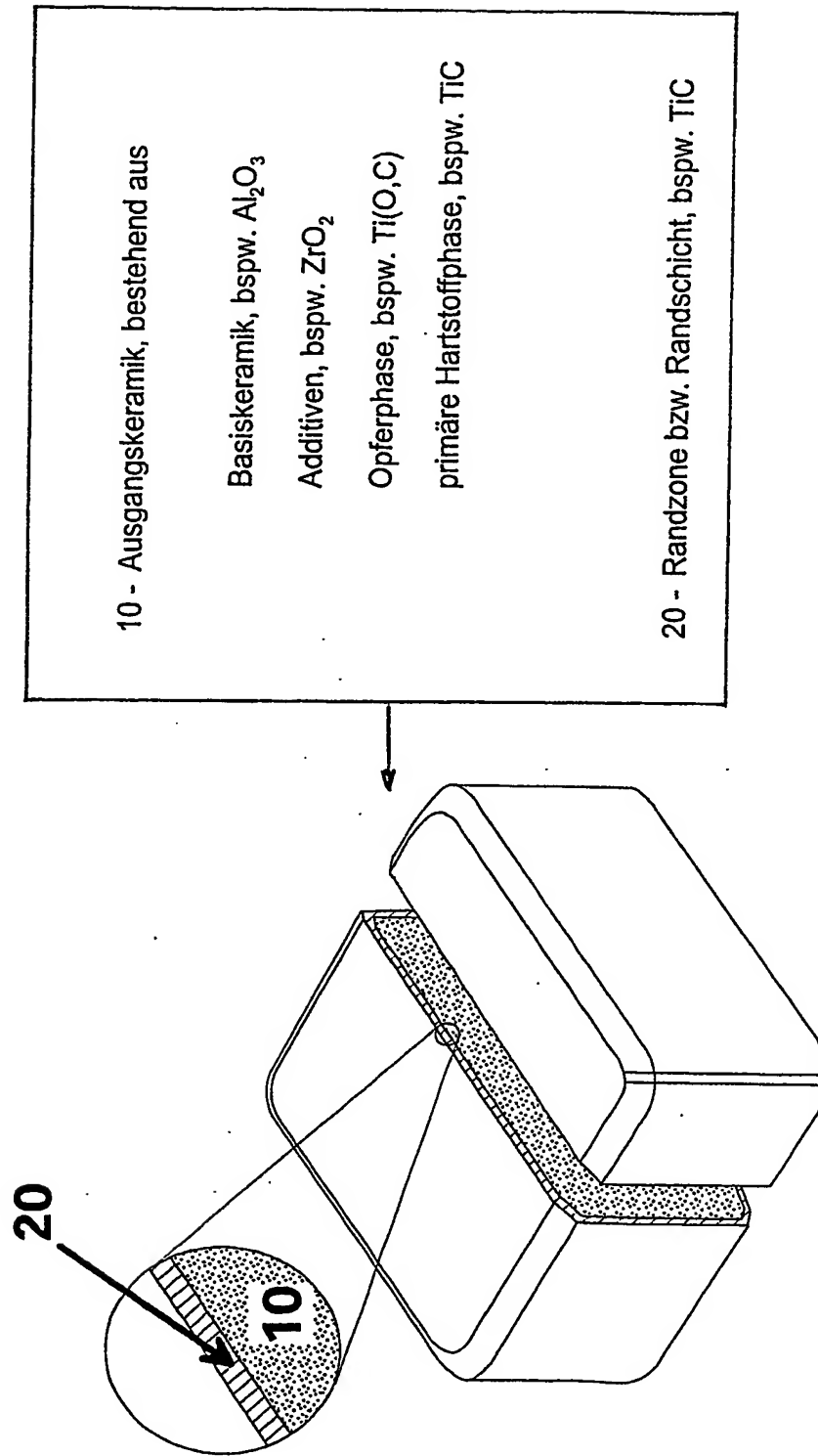
16. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 und 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Sinterung des keramischen Schneidkörpers mittels aluminothermischer bzw. reaktiver oder konventioneller druckloser, eventuell vakuumunterstützter Sinterung und/oder mittels heißisostatischem Pressen und/oder Heißpressen und/oder Mikrowellensintern und/oder Lasersintern erfolgt.
17. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Randzone durch thermische, gegebenenfalls druckunterstützte Auslagerung (bzw. Sinterung gemäß Anspruch 15) des Schneidkörpers gebildet wird.
18. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass die Randzone durch Auslagerung in definierter, vorzugsweise reduzierender, speziell Kohlenstoff-haltiger Atmosphäre gebildet wird, vorzugsweise in einem Ofen mit Kohlenstoff- oder kohlenstoffhaltigen Heizelementen.
19. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass die Randzone durch Auslagerung in definierter, vorzugsweise reduzierender, speziell Stickstoff-haltiger Atmosphäre gebildet wird.
20. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass die Randzone durch Auslagerung bei Maximaltemperaturen zwischen 1000 °C und 2500 °C, vorzugsweise zwischen 1300 °C und 2000 °C, speziell zwischen 1550 °C und 1650 °C gebildet wird.

21. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 bis 20, dadurch gekennzeichnet, dass die Randzone durch thermische oder thermisch druckunterstützte Auslagerung bei einem Druck von zwischen 0,001 mbar und 4000 bar, vorzugsweise bei einem Druck zwischen 100 bar und 3000 bar gebildet wird.
22. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 bis 21, dadurch gekennzeichnet, dass die Randzone durch Auslagerung unter Verwendung von Spül- und/oder Druckgasen, vorzugsweise Argon und/oder Stickstoff, speziell Argon gebildet wird.
23. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 bis 22, dadurch gekennzeichnet, dass die Randzone durch Auslagerung bei Haltezeiten zwischen 1 min und 300 min, vorzugsweise zwischen 5 min und 180 min, speziell zwischen 10 min und 60 min, bei entsprechend Anspruch 22 gewähltem Druck und/oder entsprechend Anspruch 21 gewählter Temperatur gebildet wird.
24. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 bis 23, dadurch gekennzeichnet, dass die Auslagerung in einem Sinterbett, vorzugsweise einem Kohlenstoff-haltigen Sinterbett erfolgt.
25. Verwendung eines keramischen Schneidwerkzeuges mit verbesserter Verschleißbeständigkeit der durch Auslagerung des keramischen Ausgangsmaterials erzeugten Randzone bzw. Randschicht, als Teil gemäß einem der Ansprüche 1 bis 13 im Apparate- und Maschinenbau; im besonderen als Schneidkörper, der zur Bear-

beitung metallischer Werkstoffe mit einer Härte größer 50 HRC, vorzugsweise gehärtetem Stahl oder Gusswerkstoffen eingesetzt wird, wobei der Schneidkörper eine Spanfläche und eine Freifläche und eine am Zusammentreffen der Spanfläche und der Freifläche gebildeten Schneidkante, die vorzugsweise gefast (Schutzfase) ist, aufweist.



Fig. 1



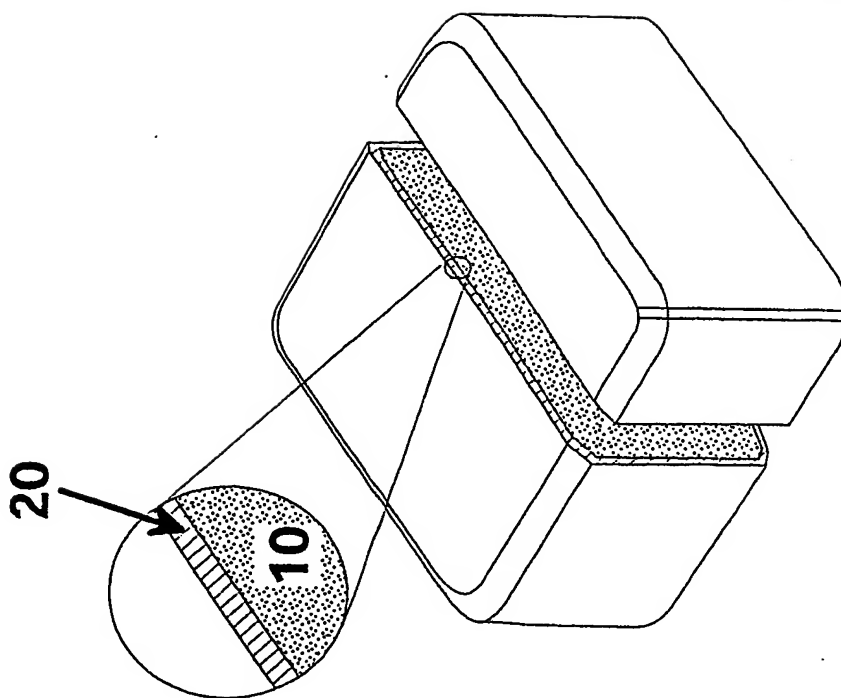
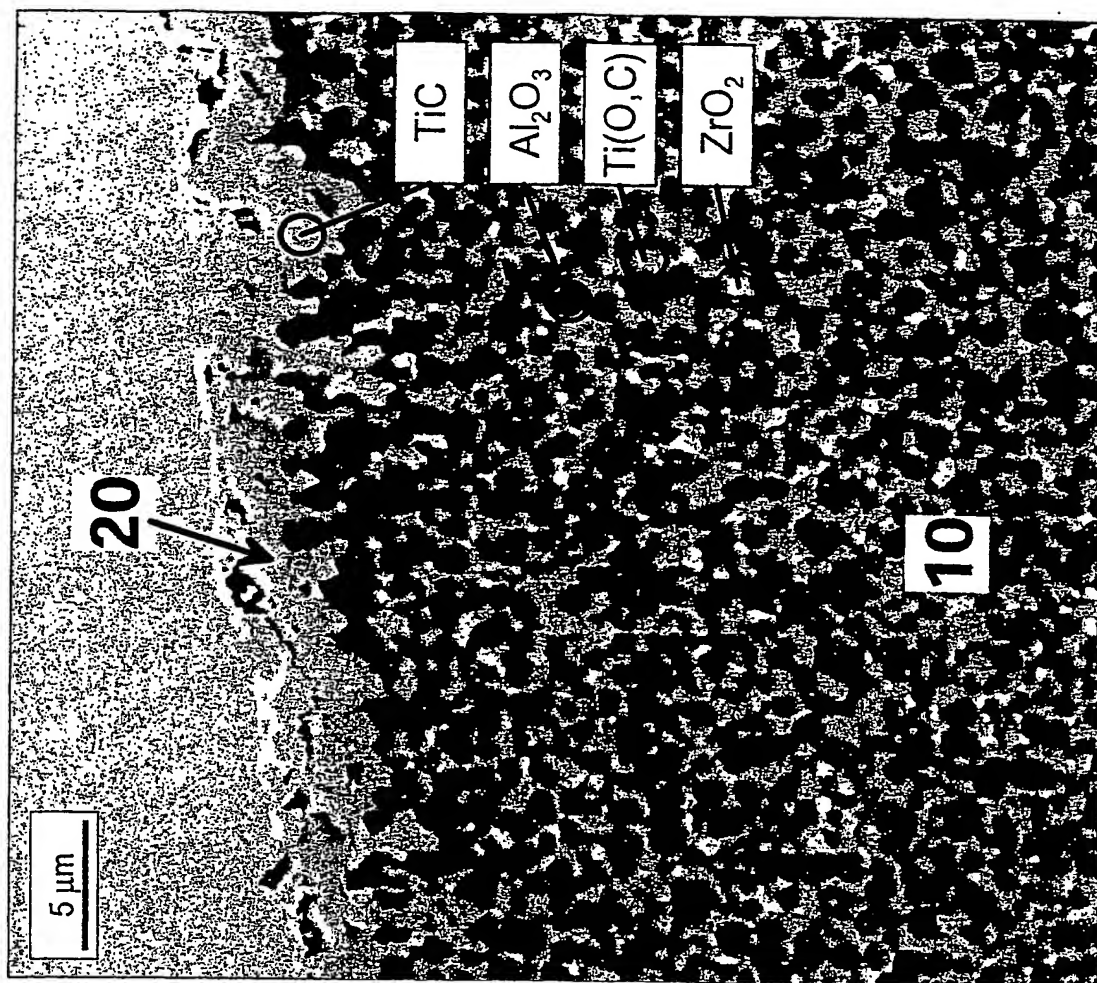
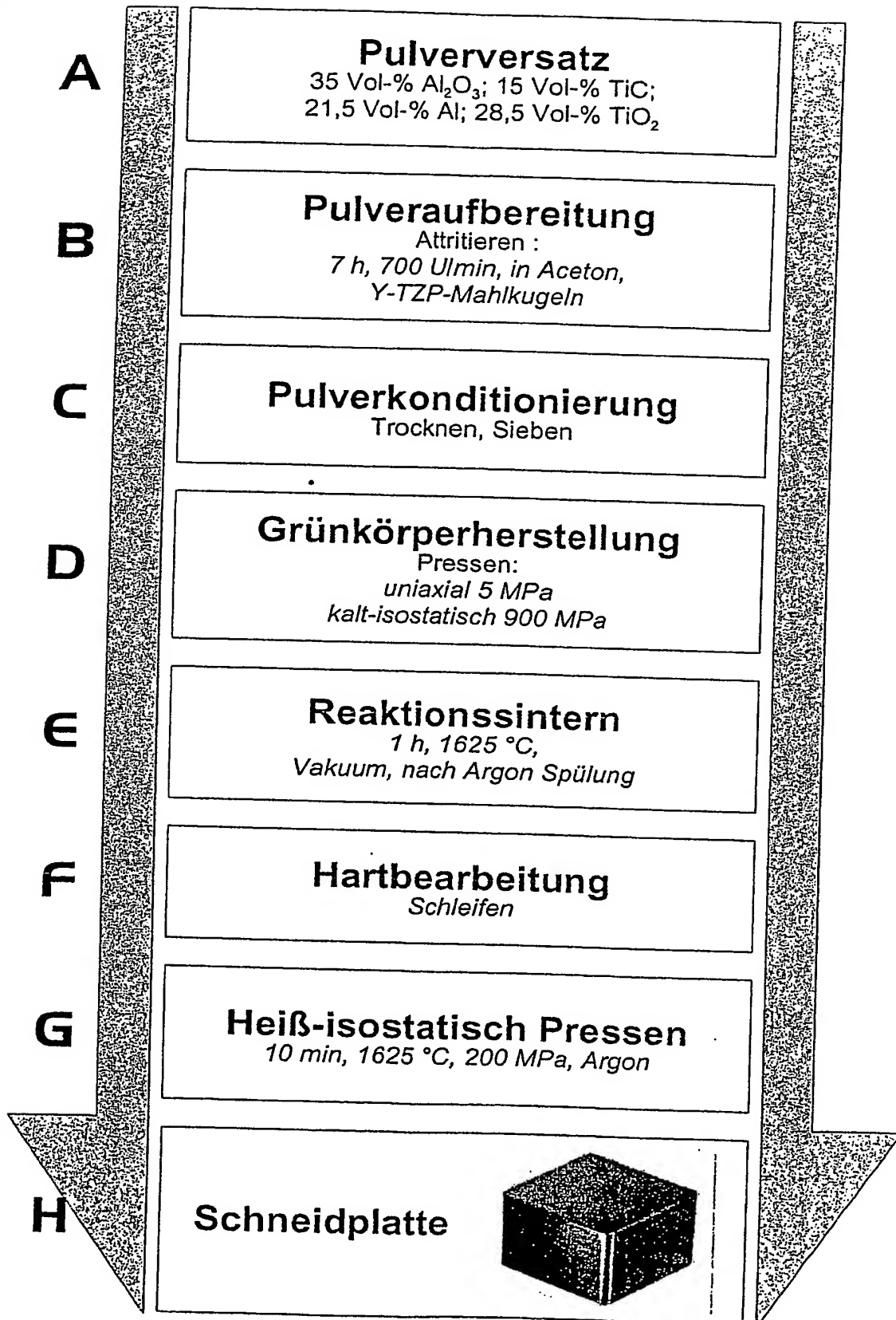


Fig. 2

Fig. 3



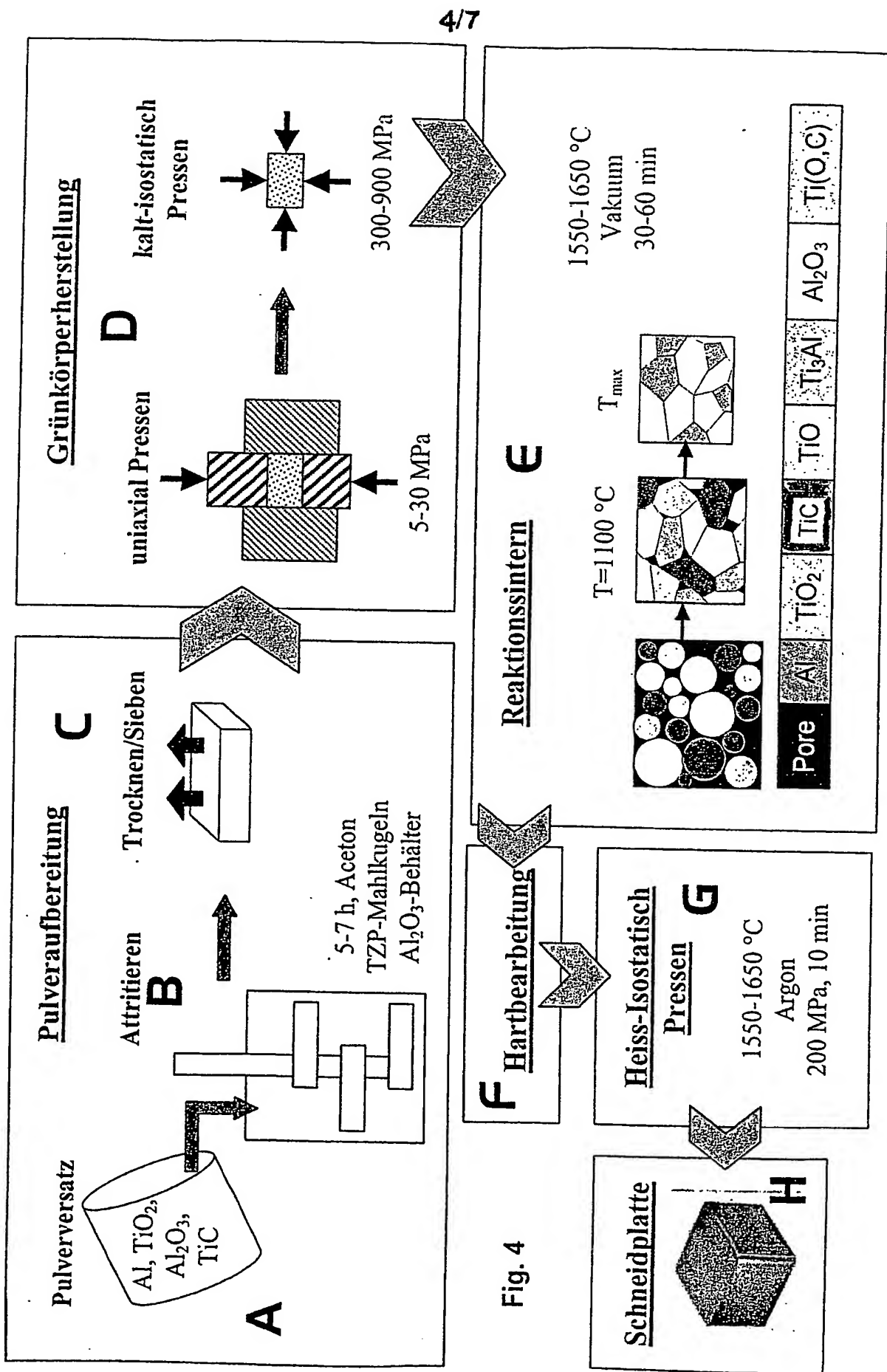


Fig. 4

Fig. 5

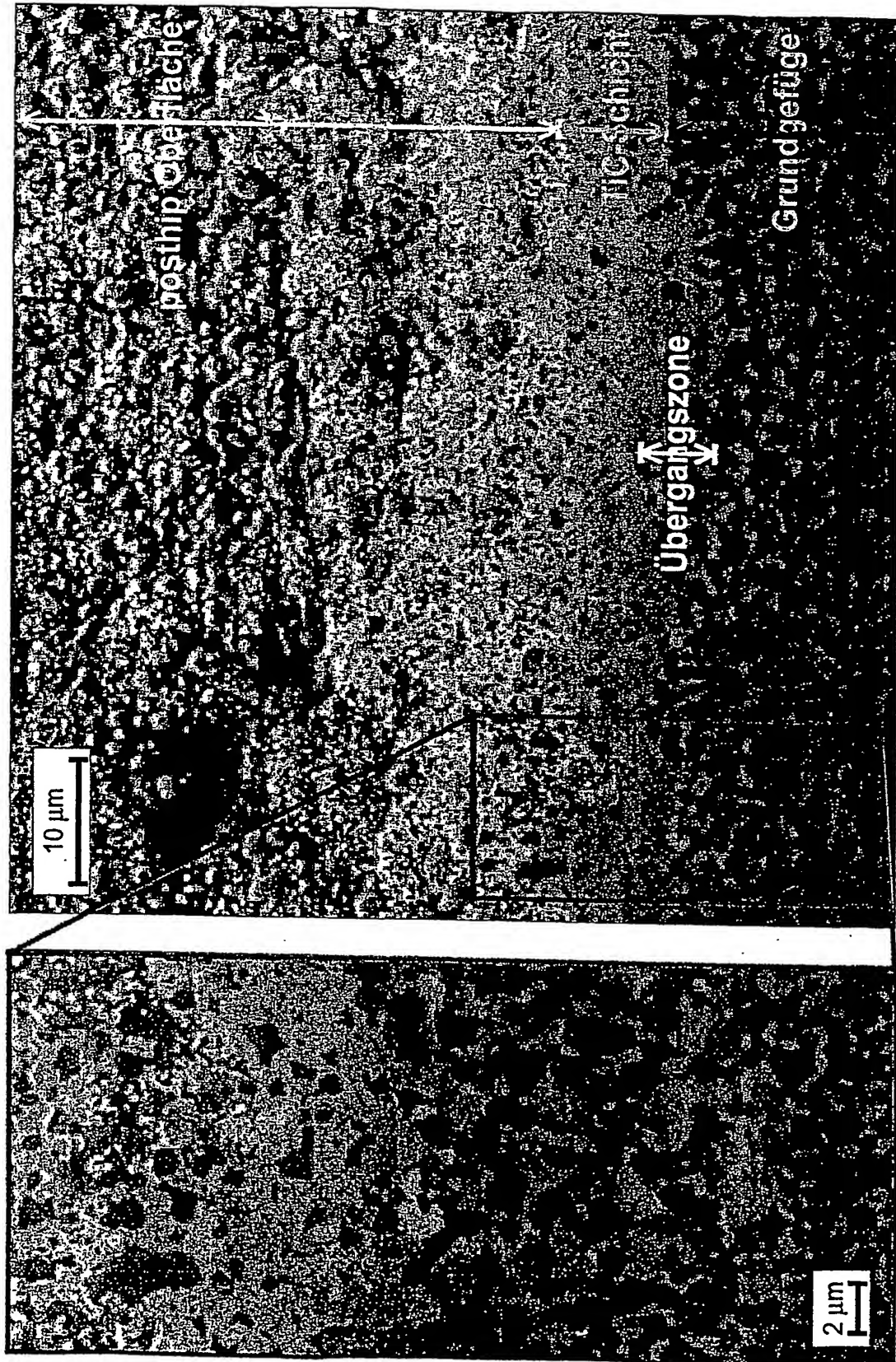


Fig. 6

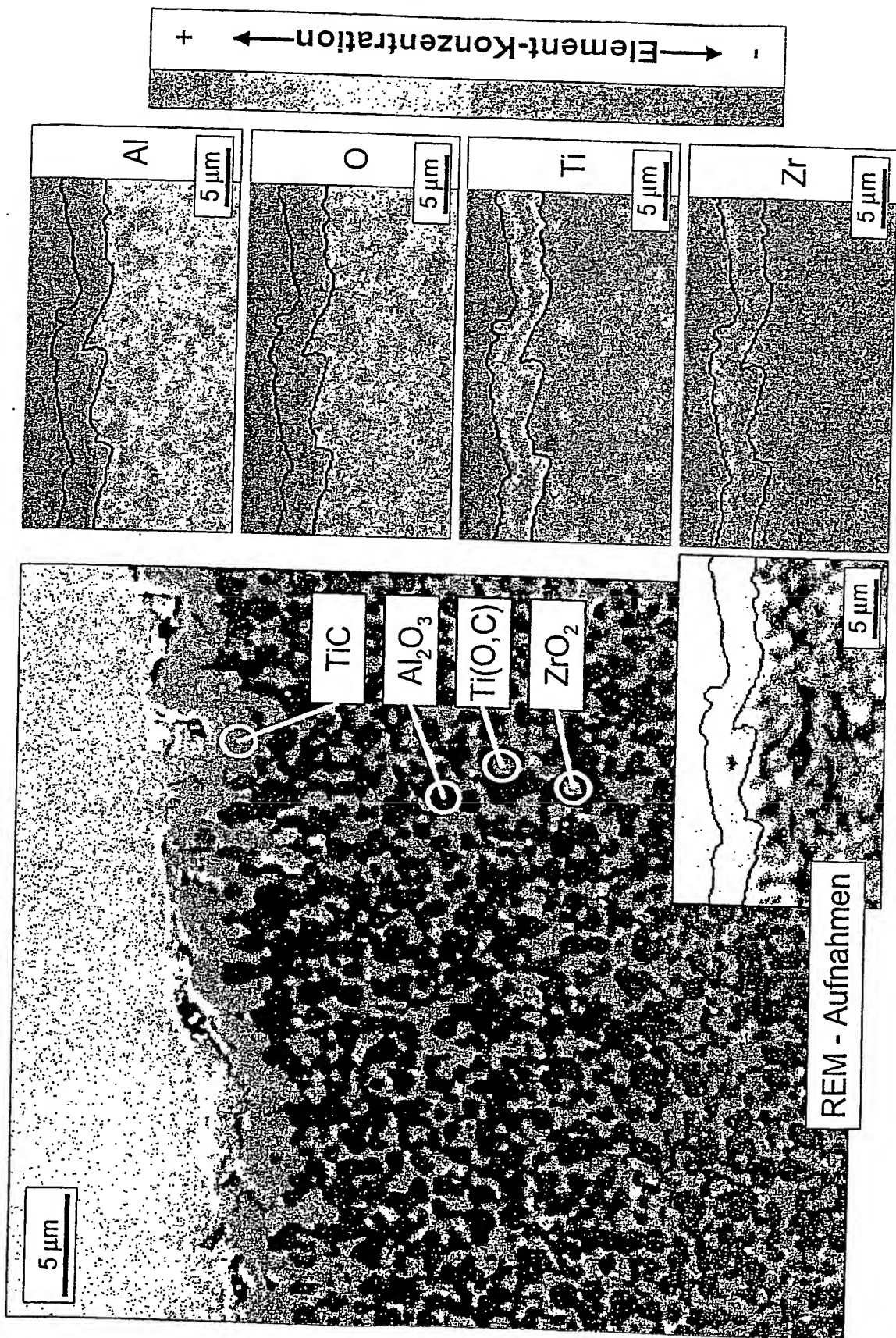




Fig. 7

